

# Les colonnes de granite du ribat de sousse Étude des altérations et de leurs causes. Proposition d'intervention de restauration



7

Dossiers techniques



A programme funded by the European Union  
Un programme financé par l'union européenne  
برنامج ممول من الإتحاد الأوروبي



Montada

### **Consortium Montada**

Responsable du Projet : Xavier CASANOVAS

### **Membres**

COL·LEGI D'APARELLADORS, ARQUITECTES TÈCNICS I ENGINYERS D'EDIFICACIÓ DE BARCELONA

Responsable : Xavier CASANOVAS

ÉCOLE D'AVIGNON

Responsable : Patrice MOROT-SIR

ASSOCIATION DE SAUVEGARDE DE LA MÉDINA DE KAIROUAN

Responsable : Mourad RAMMAH

ASSOCIATION SALA ALMOUSTAQBAL

Responsable : Nabil RAHMOUNI

OFFICE DE PROTECTION ET DE PROMOTION DE LA VALLÉE DU M'ZAB

Responsable : Younes BABANEDJAR

7 Dossiers techniques	<b>Direction</b> CASANOVAS, Xavier. CAATEEB
	<b>Auteurs</b> CASANOVAS, Xavier. CAATEEB NAVARRO, Ma. Antonia. UPC ZOGHLAMI, Karima
	<b>Objet étude</b> Étude scientifique sur les altérations des colonnes de granit du Ribat de Sousse
	<b>Lieu réalisation / application</b> Ribat. Sousse. Tunisie
	<b>Date réalisation</b> Septembre 2011-novembre 2012

[www.montada-forum.net](http://www.montada-forum.net)

© 2011-2012 Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona pour le consortium Montada  
Bon Pastor, 5 – 08021 Barcelone, Espagne  
montada@apabcn.cat

Montada incite à la reproduction de cet ouvrage ainsi qu'à la diffusion de son contenu, en citant sa source.

Le projet Montada fait partie du programme Euromed Heritage

[www.euromedheritage.net](http://www.euromedheritage.net)

Ce document a été réalisé avec l'aide financière de l'Union Européenne. Le contenu de ce document est de la responsabilité exclusive du CAATEEB, et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant la position de l'Union Européenne.

## Présentation

Le projet Montada est une action de coopération euro-méditerranéenne qui s'inscrit dans le cadre du programme Euromed Heritage IV de l'Union européenne dont l'objectif principal est de dynamiser un processus participatif pour l'appropriation du patrimoine bâti traditionnel et immatériel de la ville par la population et les élus. Il s'agit de contribuer à forger une « culture participative » afin de créer un changement de mentalité, de perception et d'organisation à l'échelle locale pour faire du patrimoine culturel un véritable moteur du développement durable des villes.

Trois pays et six villes du Maghreb (Sousse, Kairouan, Dellys, Ghardaïa, Salé et Marrakech) se sont engagés dans le processus mis en place par Montada. Six forums locaux se sont constitués rendant possible le débat entre les autorités, la société civile et les habitants pour la mise en commun de la connaissance et des inquiétudes partagées et pour garantir la durabilité et l'enracinement social des actions.

C'est dans ce cadre que plus d'une centaine d'activités se sont déroulées au fil de trois années autour de la promotion du patrimoine culturel local à différentes échelles. Il s'agit d'activités ayant un sens divulgateur ou plutôt scientifique, de travaux de réhabilitation concrets, d'activités avec les plus petits organisées par les Clubs du Patrimoine ou encore de rencontres nationales ou internationales pour faciliter l'échange d'expériences et de bonnes pratiques. Un certain nombre de personnes ont été impliquées et d'excellents résultats ont abouti à créer un impact direct sur l'administration et la population de chacune des villes concernées.

La collection de dossiers techniques a été réalisée par des experts faisant partie de l'Équipe internationale d'experts méditerranéens (EIDEM), qui ont centré leurs travaux pour apporter une réponse aux demandes faites par les forums locaux quant aux éléments du patrimoine de leur ville à étudier, à récupérer ou à revitaliser. Il s'agit en fait d'études réalisées au cours de missions techniques spécifiques pour envisager des modèles de base quant aux plus importants paramètres à considérer au moment de futures interventions orientées vers une correcte conservation.

C'est un plaisir de présenter dans ce recueil de dossiers techniques, l'étude réalisée par l'Institut National du Patrimoine tunisien (INP) dans le cadre du projet Montada. Il s'agit d'une étude scientifique sur les altérations des colonnes de granite d'origine romaine ayant été réutilisées dans le Ribat de Sousse. Cette étude analyse les causes des altérations et définit des propositions d'intervention pour leur restauration.

**Xavier Casanovas**

Chef du projet Montada

Barcelone, 1 novembre 2012



# Les colonnes de granite du ribat de sousse

## Étude des altérations et de leurs causes.

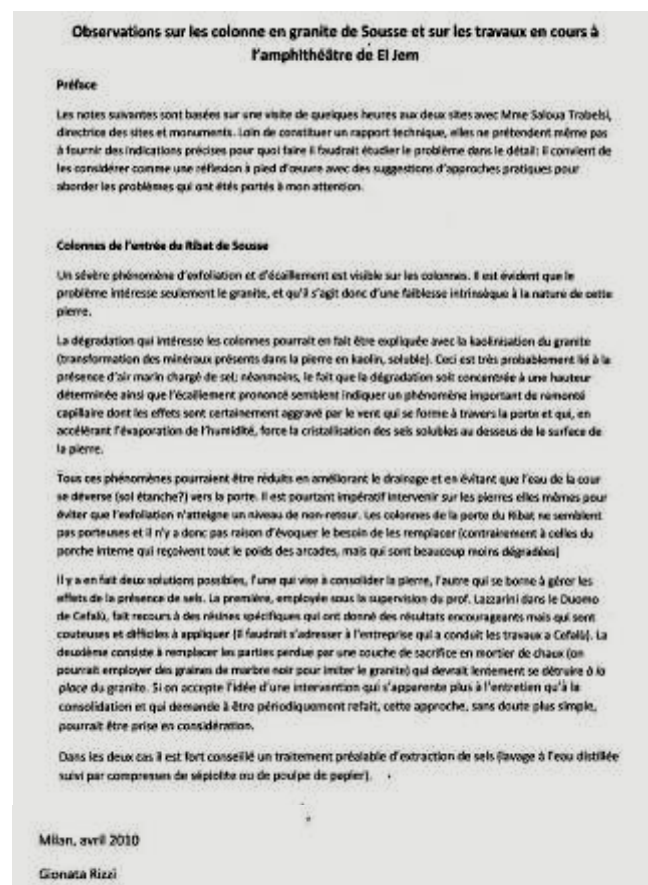
## Proposition d'intervention de restauration

1. Origine de l'étude	7
2. La ville de Sousse	9
3. Le Ribat	9
L'entrée. Ses colonnes et chapiteaux	11
Images des colonnes de l'entrée et de sa dégradation	12
4. Description et spécificité des colonnes de granite	16
5. Dégradation des colonnes de granite	17
6. Dommages situés dans d'autres zones du monument	21
7. Conclusions	23
8. Propositions d'intervention	24
Annexe I. Problématique similaire dans d'autres villes de l'espace méditerranéenw	25



## 1. Origine de l'étude

Dans le cadre du Projet Montada, l'architecte Riadh Hadj Said, Conservateur de la Médina de Sousse pour l'Institut National du Patrimoine tunisien (INP) a mis en évidence la problématique de la dégradation des colonnes de granite du Ribat de Sousse. Le professeur Gionata Rizzi avait déjà effectué une visite sur place en 2010 afin de réaliser une évaluation du problème, dont les observations sont regroupées dans le document ci-joint. Nous prenons comme point de départ cette étude afin d'approfondir les hypothèses établies et proposer des solutions permettant d'arrêter le processus de dégradation accélérée de cet ensemble, et traiter sa restauration.



La lecture de ce document et les explications fournies par l'architecte Riadh Hadj Said nous ont permis de mettre en évidence les lignes de travail que nous allons développer dans cette étude.

Tout d'abord il s'est avéré nécessaire de vérifier l'état de kaolinisation du granite, dans la mesure où ce type d'altération propre au matériel peut générer des zones davantage poreuses où l'eau, chargée avec des sels solubles, peut contribuer à l'accélération du processus d'exfoliation du granite. D'autre part, il est également nécessaire de constater la présence de sels solubles dans les couches qui se sont formées à l'intérieur des colonnes.

Les traitements de protection et de préservation peuvent contribuer à la conservation du granite, mais ces derniers doivent être perméables à la vapeur

d'eau. En effet, la pression de la vapeur d'eau peut accélérer l'altération et conduire à un état de ruine aux colonnes, en particulier si le bâtiment est sujet à la problématique de la remontée capillaire. Il est donc nécessaire de bien déterminer le comportement des traitements possibles de consolidation, et ce par le biais d'échantillons de granite étudié en laboratoire afin d'éviter des changements indésirables sur le monument.

Dans ses recommandations, le professeur Gionata Rizzi propose l'utilisation d'un mortier de chaux réalisé avec des grains de marbre noire. On considère que l'utilisation de mortier de sacrifice est très utile dans ce type de situation. Si le bâtiment est sujet à une remontée capillaire difficilement contrôlable, le mortier de sacrifice se détériore alors à la place du granite. Afin d'assurer la qualité des résultats obtenus, il est nécessaire de bien définir la composition de cet enduit à la chaux, qui pourrait s'assimiler plus facilement au matériel granitique en utilisant des grains du granite même. Il serait également opportun d'utiliser un dosage de sable bien étudié afin d'obtenir un mortier poreux, capable d'accumuler les sels solubles et de permettre sa cristallisation à l'intérieur même du matériau, nettoyant ainsi le granite.



## 2. La ville de Sousse

La ville de Sousse, située sur le littoral tunisien au centre du pays, est la capitale d'une large bande côtière appelée "Sahel", une façade maritime qui a favorisé les échanges et les apports de plusieurs civilisations tout au long de l'histoire. Au X<sup>ème</sup> siècle avant J-C, des navigateurs phéniciens fondent la ville de Hadhramaout probablement liée au conflit entre Rome et Carthage. La « pax romana » permet à la ville d'être plus active et riche et de bâtir de grands édifices, devenant la capitale du centre de la Tunisie. Au V<sup>ème</sup> siècle, la ville est prise par les Vandales puis reprise par les Byzantins, puis passe aux mains des Arabes en 665. C'est au IX<sup>ème</sup> siècle qu'elle connaît un âge d'or avec les Aghlabides en devenant une grande ville reconnue pour ses superbes monuments, dont le Ribat constitue un exemple remarquable. Jusqu'au XVIII<sup>ème</sup> siècle, les phases de renaissance et de déclin alternent avec les Fatimides, Zirides, Hilaliens, Almohades, Hafsides, Espagnols et Turcs. Sous le Protectorat français, la ville s'agrandit rapidement autour de la médina traditionnelle, elle s'équipe et se modernise. Deux grandes civilisations ont façonné durablement l'espace et marqué profondément cette ville : l'Empire Romain et l'Islam. De sa longue histoire de plus de trente siècles, Sousse conserve de nos jours des témoignages nombreux et variés de sa splendeur qui ont d'ailleurs conduit l'UNESCO à l'inscrire en 1988 sur la liste du Patrimoine Mondial. L'un des plus importants monuments de la ville est donc le Ribat, objet de notre étude.

## 3. Le Ribat

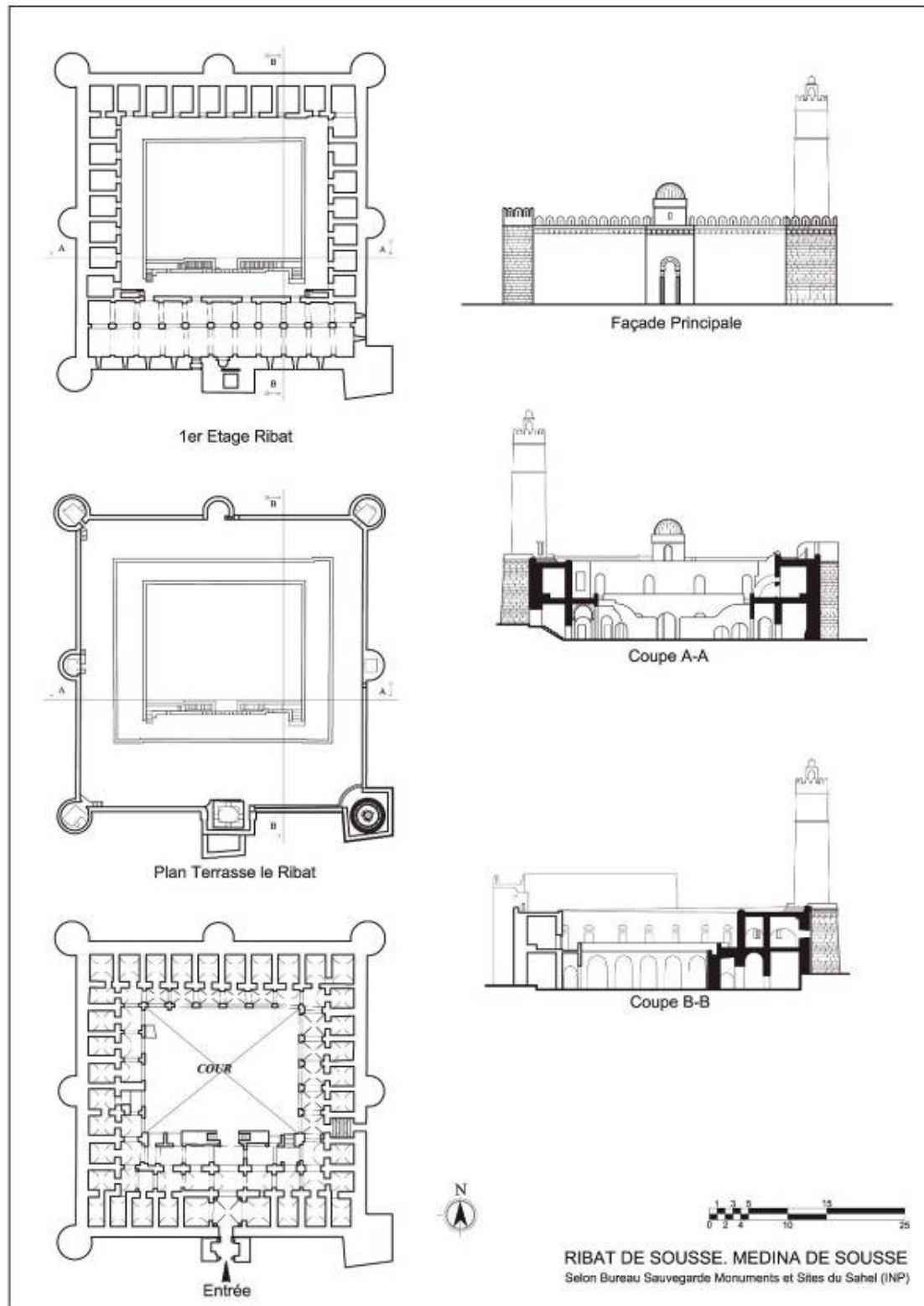
Le Ribat a été érigé entre 775 et 788 par le gouverneur abbasside Yazid ibn Hätim al-Muhallabi, sur les traces d'une basilique et d'un château plus ancien. En 821 la tour-vigie est venue compléter cet ensemble architectural. Malgré les différentes réfections dont il a fait l'objet, l'aspect originel du Ribat n'a pas été altéré. Après avoir été transformé en madrasa en 1722, il subit en 1942 et 1943 de graves dommages à cause des bombardements. Suite aux importants dommages provoqués par les bombardements, une vaste restauration a été entreprise afin de restituer le bâtiment dans l'aspect tel que nous le connaissons aujourd'hui.

Le bâtiment évoque, de l'extérieur comme de l'intérieur, une impression d'harmonie, d'équilibre et de simplicité à la fois. Conçu à l'origine comme forteresse défensive et lieu de prière, il remplissait une double fonction : militaire et religieuse. Le Ribat est organisé selon un plan carré quasiment régulier de 39x38 mètres. Il est doté de tours rondes aux angles, excepté au Sud-est, où est située la grande tour de vigie. La cour centrale est entièrement bordée de portiques en rez-de-chaussée.

L'entrée est placée au milieu de la façade Sud dans une tour quadrangulaire qui abrite, au premier étage, une salle de prière que certains considèrent comme la plus ancienne mosquée d'Afrique. Une coupole surplombe cette porte d'entrée. Un porche précède la porte qui conduit vers la cour centrale à travers un grand vestibule doté d'arcades et de voûtes en pierre et décoré de

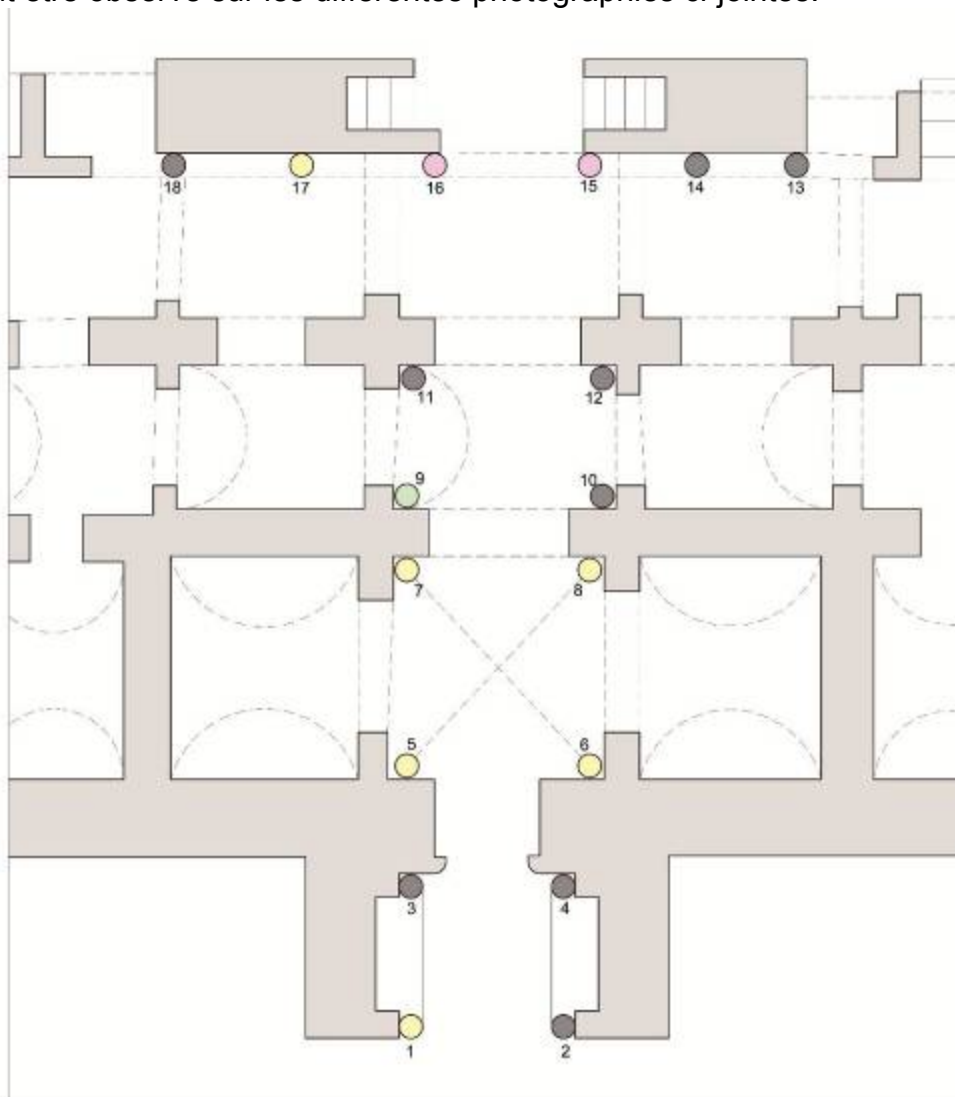
plusieurs colonnes et chapiteaux récupérés parmi les vestiges romains et byzantins.





Construit avec plusieurs matériaux de récupération utilisés pour composer des éléments ornementaux, le Ribat est le plus vieux monument islamique de la ville et constitue sa figure emblématique depuis toujours.



## L'entrée. Ses colonnes et chapiteaux

La zone de l'entrée et du vestibule est dotée des éléments décoratifs plus significatifs du monument. Il s'agit de colonnes et chapiteaux de réemploi de style, dimensions et matériaux totalement différents. Le plan ci-joint détaille les différentes origines géologiques de chacune des colonnes. L'état de conservation de ces éléments décoratifs est également différent selon les cas. Il dépend des événements et transformations qu'a subi le monument au cours de l'histoire et plus récemment. L'état de conservation des différentes colonnes peut être observé sur les différentes photographies ci-jointes.



LÉGENDE	
	MARBRE
	PIERRE CALCAIRE
	GRANITE GRIS
	GRANITE ROSÉ



RIBAT DE SOUSSE. MEDINA DE SOUSSE



**Images des colonnes de l'entrée illustrant leur état de dégradation**



Colonnes 1, 2 et 4



Colonne 2



Colonne 3



Colonne 4





Colonne 6



Colonne 7



Colonne 8



Colonne 9



Colonne 10



Colonne 11



Colonnes 12-10



Colonnes 14-13



Colonne 15



Colonne 16



Colonnes 18-17-16

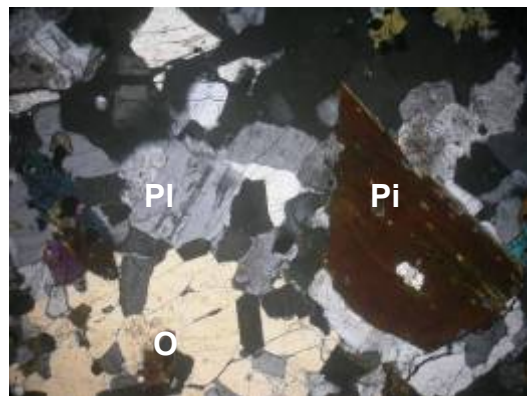
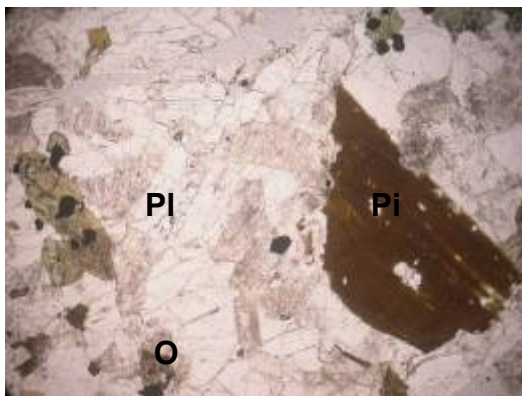
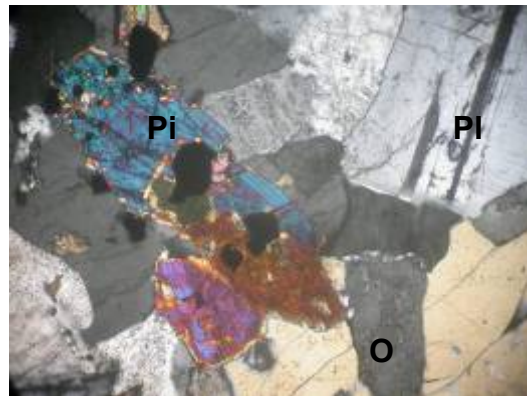
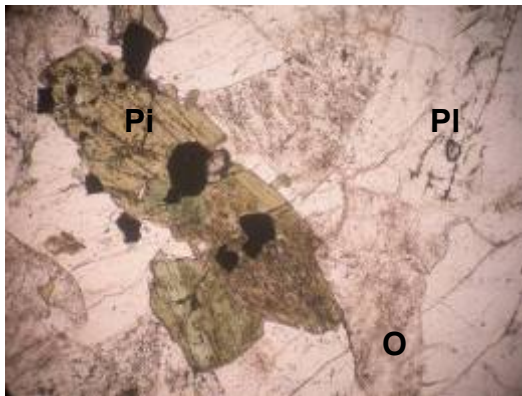


#### 4. Description et spécificité des colonnes de granite

L'étude des colonnes de granite réalisée par la géologue tunisienne Karima Zoghلامي a permis d'identifier deux types de colonnes clairement différents : les colonnes de granite rose et les colonnes de granite gris, que l'on peut retrouver sur le plan du vestibule du Ribat fourni ci-dessus.

A partir d'une série d'échantillons de roche extraits de la zone dégradée des colonnes, une analyse pétrographique a été réalisée afin de déterminer leur composition. Cette analyse a été réalisée grâce à l'étude d'une lame mince de roche au microscope optique pétrographique. Les résultats obtenus sont les suivants :

- Le granite rose est essentiellement constitué d'orthose, de quartz et de pyroxène ; la présence de micas et plagioclase est accessoire.
- Le granite gris est essentiellement constitué de pyroxène, d'orthose et de plagioclase ; on trouve une moindre proportion de quartz et la présence de micas est accessoire.



Microphotographies du granite gris, prismes de Nicol parallèles et croisés. On peut observer les cristaux de pyroxène (Pi), plagioclase (Pl) et orthose (O). Dans ces échantillons, les feldspaths ne sont pas kaolinisés.



## 5. Dégradation des colonnes de granite

Les dégradations observées touchent davantage le granite gris, et en particulier les colonnes situées à l'extérieur du bâtiment. Ces dernières sont sujettes à des exfoliations, desquamations en plaque graves et arénisation qui détériorent la cohésion et la cohérence de la roche. (photos 1 et 2)



Foto 1



Foto 2

A l'intérieur, les colonnes sont également touchées par ces dégradations (desquamation en plaque et fissuration), mais dans une moindre mesure. Il a été vérifié que les colonnes ne sont pas exposées au soleil, et que l'humidité de la zone est très élevée (photos 3 et 4).



Photo 3 : colonne de granite gris, fissurée longitudinalement et présentant une desquamation en plaque.



Photo 4 : colonne de granite rose, présentant une desquamation en plaque.

Les différents facteurs de détérioration des colonnes peuvent être les suivants :

- **Altération due aux cycles de cristallisation des sels.** Selon le niveau d'humidité de l'air, les sels solubles provenant des aérosols marins ou d'éléments dérivant des matériaux de construction cristallisent dans la surface, la sous-surface ou à l'intérieur de la pierre. Cette cristallisation provoque une série de dommages plus ou moins importants : arénisation, fissuration, exfoliation et décollement de plaques.
- Les variations de température jour-nuit, provoquant une **dilatation thermique différentielle** (selon les différents composants du granite) sur la superficie des colonnes. Ces variations peuvent impliquer une pression thermique qui provoque une fissuration initiale. Cette dernière peut ensuite augmenter et dégénérer en exfoliation et décollement de plaques.
- Les **remontées capillaires**, transportant avec elles les sels solubles qui cristallisent dans la zone d'évaporation, et créant des tensions à l'intérieur du matériau.

Si les différents facteurs d'altérations décrits ci-dessus peuvent se produire de manière simultanée, les deux premiers touchent cependant de manière plus intense les colonnes extérieures, ces dernières étant davantage exposées au soleil et aux aérosols marins. Le troisième facteur d'altération touche principalement les colonnes situées à l'intérieur, du fait de l'humidité de l'air élevée et de la faible exposition au soleil.

Afin de pouvoir conclure que la cristallisation des sels constitue une des principales causes de la dégradation des colonnes, il est nécessaire de vérifier la présence de sels solubles dans le tissu poreux de ces dernières et déterminer sa composition afin de pouvoir en déduire l'origine. L'application de pansements a été réalisée dans le but de déduire leur provenance et comprendre quels effets ils ont sur la roche. Ces pansements ont ensuite été retirés afin de procéder à leur analyse chimique.

Les pansements ont été réalisés avec deux matériaux différents : la fibre de cellulose et la fibre de cellulose dotée de sépiolite. Dans les deux cas, les pansements ont été trempés dans de l'eau distillée. On peut repérer la situation des pansements sur les photographies suivantes :



Pansements avec fibre de cellulose :

F1CDB: colonne de droite, partie basse; F2CDA: colonne de droite, partie haute; F4CEA: colonne de gauche, partie haute. CEB: colonne de gauche, partie base, n'a pas pu être analysée



Pansements avec fibre de cellulose et sépiolite:

Fse1CDA: colonne de droite, partie haute Fse2CDB: colonne de droite, partie basse; Fse3CEB: colonne de gauche, partie basse; Fse4CEA: colonne de gauche, partie haute.

Les pansements ont été installés durant 48 heures. L'absorption de sels par conductivité a été analysée, et la quantité de sel dissoute a été calculée. Les valeurs obtenues sont regroupés dans le tableau suivant :

Pansements	Conductivité µs/cm	Quantité de sel mg/l	Conductivité µs/cm	Quantité de sel mg/l
Eau distillée	8,1	6,4	7,4	5,8
F	44,8	35,2	219	171,9
F1 (CDB)	770	604,4	903	708,8
F2 (CDA)	960	753,6	1045	820,3
F4 (CEA)	618	485,1	1195	938,1
Fse	205	160,9	236	185,3
Fse1 (CDA)	1481	1162,6	1546	1213,6
Fse2 (CDB)	644	505,5	814	639,0
Fse3 (CEA)	1422	1116,3	1746	1370,6
Fse4 (CEB)	1568	1230,9	1953	1533,1

Tableau 1 : relation conductivité/quantité de sel présente dans les pansements

La quantité de sels présents dans les colonnes est très importante, que ce soit dans les colonnes intérieures situées dans le vestibule ou dans les colonnes extérieures.

Dans un deuxième temps, la quantité de chlorure et de sulfate a été analysée grâce à une chromatographie ionique. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

<b>Pansements</b>	<b>Conductivité (<math>\mu\text{s}/\text{cm}</math>)</b>	<b>Chlorures (ppm)</b>	<b>Sulfates (ppm)</b>
F blanco	219	30,14	5,49
F1 (CDB)	697	62,58	35,32
F2 (CDA)	910	78,48	49,79
F4 (CEA)	727	72,33	34,67
Fse blanco	226	33,73	5,04
Fse1 (CDA)	1016	124,91	12,06
Fse2 (CDB)	525	34,54	5,41
Fse3 (CEA)	1094	131,29	17,42
Fse4 (CEB)	1175	121,47	30,95
Eau en bouteille		15,80	42,40

Tableau 2 : Conductivité et quantité de chlorure et de sulfate analysés. Les valeurs correspondant à l'eau en bouteille sont utilisées à titre de référence.

La quantité de chlorures analysée est considérable, compte-tenu des valeurs des deux types de pansements utilisés (F blanc et Fse blanc) et la valeur de référence de l'eau en bouteille. On n'observe pas de tendance claire à la concentration des chlorures selon la situation du pansement. En revanche, on remarque que le deuxième type de pansement (papier de cellulose avec sépiolite) parvient à extraire davantage de chlorures.

La quantité de sulfates extraite n'est pas significative, compte-tenu de la valeur de référence de l'eau en bouteille.

## 6. Dommages situés dans d'autres zones du monument

Les murs du bâtiment sont réalisés en maçonnerie de moellons de forme régulière, de pierre de taille de grès calcaire, de différentes tailles de grains et peu cristallisés. L'ensemble des éléments de maçonnerie sont caractérisés par une porosité importante. Leur âge géologique est situé au quaternaire (plus précisément dans le tyrrhénien).

On observe sur les murs des tâches d'humidité qui s'étendent depuis le sol jusqu'à une hauteur d'environ 2 mètres dans certaines zones (photo 5). La majorité des blocs de pierre sont soumis à une importante arénisation. On observe cependant des blocs en parfait état de conservation, correspondant aux blocs de substitution. (photo 6)

Selon les informations fournies par l'architecte Riadh Hadj Said, ces blocs de pierre en bon état ont été installés lors des dernières restaurations ayant été effectuées, et mis en œuvre avec un mortier aux propriétés différentes du mortier originel.



Photo 5 : Ligne rouge : limite de capillarité



Photo 6 : flèche jaune : bloc de pierre originel.  
Flèche rouge : bloc de pierre de substitution.

D'autre part, l'observation a également révélé la dégradation mécanique du chapiteau couronnant la colonne n°2. Cette dégradation est caractérisée par des fissures ayant provoqué à certains endroits la perte de matière. Un suivi de ces fissures a été réalisé, on peut ainsi observer sur les photos ci-jointes l'évolution des fissures au fil des années.





Dégradation mécanique d'un des chapiteaux de l'entrée (colonne 2)

Le mortier utilisé pour la substitution des blocs de pierre réalisés dans les murs semble être de composition différente, davantage compact et moins perméable que le mortier originel. Il est probable que ce matériau soit à l'origine des sels cristallisés autour des blocs de pierre ayant été remplacés. Du fait de la faible porosité du nouveau mortier et de la forte porosité de la pierre, les sels ont cristallisé dans la pierre, provoquant l'accélération de leur dégradation.

Concernant le désordre mécanique observé dans le chapiteau, ce dernier est directement lié à la réalisation d'un étalement dans la zone d'entrée effectué dans le but de prévenir un possible effondrement structurel. D'autre part, la dégradation des colonnes peut avoir des conséquences graves sur les éléments décoratifs, mais ne constitue pas un facteur de risque pour la solidité structurelle de l'ensemble du bâtiment ou de la zone d'entrée.

## 7. Conclusions

Les conclusions tirées des observations et analyses réalisées sont les suivantes :

- Les granites analysés ne sont pas kaolinisés, ils présentent en revanche des fissurations structurelles. Les variations climatiques importantes peuvent être la cause de ces fissurations.
- Les chlorures provenant de l'eau de mer et transportés tant par les aérosols (humidité de l'air) que par remontée capillaire, sont cristallisés dans les interstices des fissures. Dans ce cas, par tension mécanique, les deux parties de la fissure se séparent et provoquent des desquamations et des desquamations en plaque.
- Les mortiers de substitution utilisés à postériori sont peu fournis en sulfates. Ils sont en revanche plus imperméables que la pierre utilisée pour la réalisation des blocs de pierre. L'effet produit est que les sulfates cristallisent dans la pierre au lieu de le faire dans le mortier. Ce dernier devant fonctionner comme un mortier de sacrifice favorisant la conservation des blocs de pierre.

## 8. Propositions d'intervention

Considérant que le monument étudié est situé proche de la mer, et qu'il est exposé à des conditions climatiques extrêmes, il est nécessaire de d'assumer le fait que les matériaux de ce bâtiment seront toujours exposés à l'attaque de chlorures. Par conséquent, nous proposons d'intervenir sur la circulation de l'eau, qui est le facteur de déplacement des sels solubles et provoque leur cristallisation quand elle s'évapore.

A partir des recommandations évoquées par le professeur Gionata Rizzi en 2010, nous conseillons donc de :

- Dessaler les colonnes altérées grâce à des pansements de papier de cellulose et sépiolite, en les laissant agir durant 24 heures.

- Réduire les remontées capillaires. Du fait de l'envergure du monument, nous proposons intervenir avec un système électronique ne requérant ni manipulation ni contact avec le monument.

- Stabiliser les zones fissurées et soumises à une desquamation en plaque grâce à l'injection de résines, après avoir extrait les sels et séché de toute humidité.

- Empêcher que la vapeur d'eau, avec les aérosols marins, continue d'entrer dans le tissu poreux de la pierre. On peut obtenir ce résultat de deux manières, correspondant à deux niveaux d'intensité d'intervention :

- Réaliser une hydrofugation avec les produits adaptés. Différents types de produits devraient être testés en laboratoire afin de déterminer lequel est le plus adapté, appliqué sur une roche similaire à la roche existante et dans un environnement avec brume saline. Cette intervention implique l'utilisation de produits chimiques qui se dégradent avec le temps et les conditions climatiques extrêmes. Par conséquent, il faudrait prévoir un entretien continu tous les 5 à 10 ans.

- Appliquer des mortiers de sacrifice, réalisés avec de la chaux calcique (il n'est pas nécessaire qu'ils soient résistants) et poudre de granite triturée et dessalée, ajoutés dans le mélange avec des savons naturels (stéarate ou similaire) afin qu'ils soient hydro-repoussants. Bien que s'agissant de matériel de sacrifice, prévoir un entretien moindre que pour la proposition antérieure.



## Annexe I

### Problématique similaire dans d'autres villes de l'espace méditerranéen

La problématique identifiée et analysée pour les colonnes de granite du Ribat de Sousse n'est pas un cas isolé. Nous avons eu l'occasion d'analyser et d'inventorier ce type de problématique dans d'autres villes de l'espace méditerranéen, en Espagne, à Chypre ou en Italie. Il s'agit donc d'un problème récurrent qui touche les éléments constructifs réalisés avec des roches granitiques.

#### Espagne

La Galice est la région d'Espagne utilisant le plus fréquemment la roche granitique pour les éléments constructifs. L'étude « Dégradation de roches granitiques employées comme matériau de construction dans les bâtiments historiques de la Corogne » réalisée par J. Sanjurjo de l'Institut Universitaire de Géologie "Isidro Parga Pondal", Université de la Corogne et C.A.S. Alves du Département de Sciences de la Terre, Université do Minho, Campus de Gualtar, Braga, Portugal, démontre clairement l'importance de cette problématique, que nous pouvons observer sur les images suivantes :



Erosions et desquamation en plaque sur des blocs de leucogranite de San Pedro, avec détails architecturaux de l'église des Capuchinas.



Desquamations sur les blocs de leucogranite de San Pedro dans la partie plus récente (1899) de la collégiale de Santa María del Campo.



Erosion et desquamation en plaque sur le leucogranite de San Pedro, sur un des porches de la collégiale de Santa María del Campo.

Les analyses développées dans l'étude ont permis d'élaborer les conclusions suivantes :

*« La principale érosion retrouvée dans les édifices appartenant au Patrimoine Mondial est due à l'emploi de types de roches préalablement météorisées dans les massifs naturels. Les processus d'érosion que l'on retrouve dans les bâtiments sont, par conséquent, directement liés aux caractéristiques intrinsèques de la roche (structure, déformation, météorisation et hétérogénéités), tandis que les facteurs exogènes jouent un rôle secondaire. Parmi ces agents exogènes, l'altération est due aux effets de concentration de charges sur les blocs de pierre, humidité et érosion provenant de l'interaction avec des matériaux agglomérants (par cristallisation de sels).*

*L'évaluation du niveau d'intensité d'un certain type d'altération est extrêmement complexe, dépendant du type de roche, de sa structure et de sa texture. Par conséquent, cette évaluation doit être réalisée de manière qualitative pour chacune des roches. De manière générale, il n'a pas été observé de différences dans les parements des bâtiments étudiés construits avec le même type de granite. Les façades les moins détériorées sont celles ayant été construites plus récemment, du fait de l'emploi de matériau granitique de meilleure qualité (avec un niveau plus faible de météorisation provenant de la carrière).*

*La porosité et l'interconnexion du système de pores dépendant du niveau de météorisation : des granites pétrographiquement différents peuvent avoir des porosités similaires qui varient selon la météorisation. De plus, il existe une relation porosité-résistance mécanique, et les surfaces de porosité plus importante se révèlent avoir une résistance mécanique superficielle moindre. »*

## **Chypre**

On retrouve sur les colonnes de granite gris qui décorent le triple portique d'entrée du palais vénicien de Famagusta (Chypre, construit au milieu du XVI<sup>ème</sup> siècle), une problématique bien similaire à celle de Sousse. Il s'agit de colonnes romaines de réemploi extraites des ruines de la ville de Salamina située non loin de là.





A Chypre, la dégradation par desquamation de plaques a également été observée sur des colonnes de granite rose provenant elles aussi de ruines

romaines. Elles sont aujourd'hui situées sur la façade du bâtiment qui accueille le *Folk Art Museum* de Nicosia, un bâtiment du XV<sup>ème</sup> siècle, initialement dédié à accueillir un monastère puis transformé durant le XVIII<sup>ème</sup> siècle en archevêché.



Colonne ayant subi un traitement de surface aux résultats douteux, ayant impliqué un changement chromatique important.



## Italie

Sur la place San Marco de Venise, on trouve la colonne de granite gris de grande dimensions soutenant le lion, symbole emblématique de la ville, accueillant les bateaux qui s'approchent de la cité. En observant avec attention la colonne, la surface de cette dernière présente également une grave dégradation par desquamation et desquamation en plaque. On peut également observer des réparations ponctuelles de remplacement du matériau à la base de la colonne, qui correspondent certainement à des interventions visant à résoudre ce problème dans les zones les plus touchées.





7 Dossiers techniques		COL·LEGI D'APARELLADORS, ARQUITECTES TÈCNICS I ENGINYERS D'EDIFICACIÓ DE BARCELONA
		ÉCOLE D'AVIGNON
		ASSOCIATION SALA ALMOUSTAQBAL
		ASSOCIATION DE SAUVEGARDE DE LA MÉDINA DE KAIROUAN
		OFFICE DE PROTECTION ET DE PROMOTION DE LA VALLÉE DU M'ZAB
		ASSOCIATION SAUVEGARDE DE LA MÉDINA DE SOUSSE